



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

● **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 50 177 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 P 3/36**

②① Aktenzeichen: 196 50 177.6  
②② Anmeldetag: 4. 12. 96  
④③ Offenlegungstag: 10. 6. 98

DE 196 50 177 A 1

⑦① Anmelder:

Korneffel, Burghard, Dr.rer.nat., 70437 Stuttgart,  
DE; Korneffel, Martin, 70374 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:

gleich Anmelder

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ Vorrichtung und Verfahren zur berührungslosen Messung der Geschwindigkeit

⑤⑦ Es wird eine Vorrichtung nebst Verfahren zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung an Meßgut mit beliebig strukturierter Oberfläche angegeben, welche selbst bei äußerst feiner, nicht mehr sichtbarer Struktur in der Oberfläche präzise mißt. Dazu wird mit der in jeder Oberfläche vorhandenen Mikrostruktur im halbkugelförmigen Raum über der Oberfläche des Meßgutes eine räumliche Strahlungsstruktur erzeugt, indem auf die Oberfläche ein kohärentes Strahlenbündel gerichtet wird. Die räumliche Strahlungsstruktur kommt auf einem in diesem Raum positionierten strahlungsempfindlichen Detektor als Interferenzmuster zur Wirkung, ohne irgendwelche fokussierenden oder abbildenden Elemente zwischen Oberfläche und Detektor anordnen zu müssen. Die räumliche Strahlungsstruktur und damit das Interferenzmuster auf dem Detektor bewegen sich synchron mit dem Meßgut. Der Detektor erfaßt die Verschiebung des Interferenzmusters als Funktion der Zeit. Aus den Detektorsignalen wird die Relativgeschwindigkeit zwischen Meßgut und Detektor ermittelt. Wird auf die Oberfläche des Meßgutes in sich parallele kohärente Strahlung gerichtet, so ist das Meßergebnis invariant gegenüber Änderungen des Abstandes zwischen Detektor und Meßgut.

DE 196 50 177 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung nebst Verfahren zur berührungslosen Messung der Geschwindigkeit zwischen einem strahlungsempfindlichen Sensor und dem Meßgut mit beliebig gemusterter sowie beliebig strukturierter Oberfläche. Mit Meßgut ist hier verallgemeinernd all das gemeint, auf das der Sensor gerichtet ist. Das kann beispielsweise ein Gegenstand, ein Blech, eine Papierbahn, ein Förderband oder Walzgut sein. Die Geschwindigkeitsmessung erfolgt in Richtung längs der Oberfläche des Meßgutes.

Eine Anzahl von bekannten Vorschlägen bezieht sich auf korrelationsoptische Verfahren. Unter Einsatz von optischen Gittern oder gerasterten Empfängerstrukturen werden Ortsfrequenzen herausgefiltert und daraus die Geschwindigkeit bestimmt, siehe DE 21 44 487, DE 24 50 439, DE 32 29 343 oder DE 38 39 963. Die vom Wirkprinzip her bedingten Probleme liegen im folgenden: Regelmäßige Muster in der Oberfläche des Meßgutes können die herausgefilterte Ortsfrequenz grob verfälschen und so zu falschen Meßwerten führen; weiterhin, beim Übergang von Null zu kleinen Geschwindigkeiten (Startphase) ermittelt der Frequenzzähler die sehr kleinen Ortsfrequenzen mit beträchtlichem Fehler. In der DE-OS 40 09 737, siehe auch US-A 42 18 623, wird mit elektronischen Schaltungen die Phasenverschiebung herausgefiltert, die bei der Bewegung eines Bildes längs eines Zeilensensors entsteht. Aus der Phasenverschiebung wird die Geschwindigkeit abgeleitet.

In der DE-OS 22 53 138 wird eine Korrelation zwischen zwei Abtastpunkten dadurch erreicht, daß das Signal des ersten Punktes über ein Schieberegister verzögert mit dem Signal des zweiten verglichen wird. Die Taktfrequenz des Schieberegisters wird solange nachgeregelt, bis Übereinstimmung erreicht wird. Aus der Taktfrequenz wird die Geschwindigkeit berechnet. In der DE-OS 35 39 793 wird ein weiteres Verfahren für die Korrelation zweier Bildausschnitte vorgeschlagen. Auch für diese Verfahren gilt, daß sie sensibel mit einem groben Fehler auf regelmäßige Muster reagieren.

In der DE-OS 44 44 661 wird ein Verfahren mit bildwandelndem Sensor zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung an Meßgut mit beliebig gemusterten Oberflächen angegeben, welches präzise mißt. Es genügen schwache und feine Strukturen auf der Oberfläche des Meßgutes, sofern sie vom bildwandelnden Sensor optisch aufgelöst werden. Fallen die Strukturen unter die Auflösungsgrenze des bildwandelnden Sensors, so ist die Messung nicht mehr durchführbar.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung nebst Verfahren gemäß dem Oberbegriff anzugeben, welche bei vertretbarem Aufwand präzise die Werte für Geschwindigkeit und Weg bestimmt, auch wenn die Oberfläche des Meßgutes keine sichtbaren Strukturierungen aufweist.

Der Kerngedanke der Erfindung liegt darin, mit der in jeder Oberfläche vorhandenen Mikrostruktur während der Messung eine neue Struktur zu schaffen, die in den Auflösungsbereich des Detektors fällt. Dazu wird erfindungsgemäß im halbkugelförmigen Raum über der Oberfläche des Meßgutes eine räumliche Strahlungsstruktur erzeugt, indem auf die Oberfläche ein kohärentes Strahlenbündel gerichtet wird. Die räumliche Strahlungsstruktur kommt auf einem in diesem halbkugelförmigen Raum positionierten strahlungsempfindlichen Detektor als Interferenzmuster zur Wirkung, ohne irgendwelche fokussierenden oder abbildenden Elemente zwischen Oberfläche und Detektor anordnen zu müssen. Die Struktur des Interferenzmusters wird um so gröber, je weiter der Detektor von der Auftrefffläche des kohärenten

Strahlungsbündels eintrifft. So gelingt es, auch nicht mehr sichtbare Mikrostrukturen in den Auflösungsbereich des Detektors zu transformieren. Die räumliche Strahlungsstruktur entsteht durch Interferenz der von den Mikrostrukturen in den halbkugelförmigen Raum über der Oberfläche ausgehenden Wellenfronten der reflektierten kohärenten Strahlung. Die Erfindung zielt insbesondere auf die Unregelmäßigkeiten in der Mikrostruktur, die es auf jeder realen Oberfläche gibt. Diese erzeugen eine spezifische Strahlungsstruktur. Die räumliche Strahlungsstruktur und damit das Interferenzmuster auf dem Detektor bewegen sich synchron mit dem Meßgut. Der Detektor erfaßt die Verschiebung des Interferenzmusters als Funktion der Zeit. Aus den Detektorsignalen wird die Relativgeschwindigkeit zwischen Meßgut und Detektor ermittelt. Der Detektor ist in der Hauptausführung dieser Erfindung eine lineare oder flächenförmige Anordnung von Strahlungsempfängern, deren Signale mit Verfahren der Bildverarbeitung ausgewertet werden. Aber auch die Ortsfrequenzanalyse ist anwendbar. Mit einem Laser als kohärenter Strahlungsquelle eignen sich photoempfindliche CCD's sehr gut als Detektoren. Es sei jedoch betont, daß sich die Vorrichtung gemäß dieser Erfindung mit den verschiedensten strahlungsempfindlichen Detektoren aufbauen läßt.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung nebst Verfahren mißt auf jeder Oberfläche. Auch auf glatten Oberflächen wie verchromten Metall oder Glas ist eine Messung möglich. Der Abstand vom Meßgut zum Detektor kann variabel gestaltet werden, ein für die Meßpraxis bedeutender Vorteil.

Die Möglichkeit, auf abbildende Elemente zu verzichten, ist ein außerordentlicher Vorteil. Es erlaubt eine Miniaturisierung der Vorrichtung und einen robusten mechanischen Aufbau.

Ein herausragender Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung nebst Verfahren ergibt sich, wenn die auf die Oberfläche des Meßgutes gerichtete kohärente Strahlung in sich parallel ist (Hauptausführungsform). In diesem Fall ist das Meßergebnis invariant gegenüber Änderungen des Abstandes zwischen Detektor und Meßgut, die Vorrichtung nebst Verfahren mißt absolut. Bei einem CCD als Detektor gehen lediglich das Raster der Fotoelemente, im Fertigungsprozeß des CCD festgelegt, und die quarzgenaue Bildfolgefrequenz in das Ergebnis ein. Dies ist ein großer Vorteil gegenüber bekannten berührungslosen Verfahren, wo die optische Konfiguration als Faktor eingegeben werden muß, oder wo die Genauigkeit nur in einem eingeschränkten Abstandsbereich eingehalten wird.

Wird mit kohärenter Strahlung gearbeitet, die nicht in sich parallel ist, so geht auch bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung nebst Verfahren in das Ergebnis der Abstand zwischen Oberfläche des Meßgutes und Detektor ein.

Wenn Strahlung aus anderen Quellen das Interferenzmuster zu überdecken droht, schafft folgender weiterer Teil der Erfindung Abhilfe. Zwischen Oberfläche des Meßgutes und dem Detektor wird ein die Strahlung fokussierendes Element angeordnet. Allerdings mit einem entscheidenden Unterschied zu bekannten Systemen: Es findet keine Abbildung der Oberfläche des Meßgutes statt. Der Detektor wird weder in der Brennweiteebene des fokussierenden Elements noch in derjenigen Ebene positioniert, in der die Oberfläche des Meßgutes scharf abgebildet wird. Die Brennweiteebene ist dadurch definiert, daß in ihr unendlich weit entfernte Objekte scharf abgebildet werden. Der Detektor wird in einem deutlich von der Brennweite des fokussierenden Elementes unterschiedlichen Abstand angeordnet. Das könnte beispielsweise das zweifache der Brennweite sein. Bei derartigen Abständen ruft eine zusätzliche Ausleuchtung der Oberfläche des Meßgutes durch andere nicht-

3 kohärente Quellen auf dem Detektor eine diffuse Intensitätsverteilung hervor, die sich dem prägnant ausgebildeten Interferenzmuster überlagert. Aus den Detektor-Signalen kann so das Interferenzbild leicht herausgefiltert werden. Seitlich einfallende nichtkohärente Strahlung lenkt das fokussierende Element vom Detektor weg. So läßt sich mit der erfindungsgemäßen Anordnung auch bei einem kritischen Verhältnis zwischen Intensität der kohärenten Strahlung und nichtkohärenter Umgebungsstrahlung störfrei und sicher die Geschwindigkeit messen.

Ist der Detektor in einem Abstand größer als die Brennweite angeordnet, verschiebt sich das Interferenzmuster auf dem Detektor entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung des Meßgutes. Der Abstand A zwischen Brennweitebene und Detektor, in Einheiten der Brennweite f gemessen, geht als Umrechnungsfaktor in das Ergebnis ein. Hat dieser Abstand A den Wert von einer Brennweite f, das heißt, der Detektor ist vom fokussierenden Element um 2f entfernt angeordnet, so ist der Umrechnungsfaktor 1. Das Interferenzmuster läuft für  $A=1$  auf dem Detektor mit dem gleichen Geschwindigkeitsbetrag wie ohne fokussierendes Element durch, aber in entgegengesetzter Richtung. Hat der Abstand A den Wert Null, also einer der für die Vorrichtung nebst Verfahren nicht zugelassenen Fälle, so wird keine Geschwindigkeit gemessen, der Umrechnungsfaktor ist Null.

Auch bei dieser Anordnung mit fokussierendem Element gilt: Ist die auf die Oberfläche des Meßgutes gerichtete kohärente Strahlung in sich parallel (Hauptausführungsform), so ist das Meßergebnis invariant gegenüber Änderungen des Abstandes zwischen fokussierendem Element und Meßgut. Die Vorrichtung nebst Verfahren mißt absolut.

Verfahren der Bildverarbeitung eignen sich gut für die Analyse der vom Detektor aufgenommenen Bildfolge. Die erfindungsgemäße Vorrichtung nebst Verfahren läßt sich hervorragend mit dem aus der DE-OS 44 44 661 bekannten Verfahren kombinieren. Wird als kohärente Strahlung Laserlicht verwendet, so ist das Interferenzmuster sehr dicht und fein strukturiert. Bei Bewegung des Meßgutes blitzen viele Punkte nur für kürzeste Zeit auf. Nimmt man als Detektor ein photoempfindliches CCD und bringt die aufgenommenen Bilder auf einem Monitor zur Anzeige, so sieht man ein chaotisches Bild. Das Verfahren nach DE-OS 44 44 661 ist in der Lage, aus diesem Datenwust die Geschwindigkeit präzise zu ermitteln.

Anhand der Zeichnungen, in der zwei Ausführungsbeispiele der Erfindung gezeigt sind, soll die Erfindung näher erläutert werden.

Es zeigt:

Fig. 1a und Fig. 1b ein erstes Ausführungsbeispiel, bei dem keine abbildenden Elemente zum Einsatz kommen, und

Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel, bei dem ein Linsensystem zum Einsatz kommt.

Die Fig. 1a und 1b geben die erfindungsgemäße Vorrichtung nebst Verfahren zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$  wieder. Gemäß Fig. 1a wird ein kohärentes, in sich paralleles Lichtbündel 1 in Strahlrichtung 2 auf die Oberfläche des Meßgutes 3 zum Zeitpunkt  $t_1$  gerichtet. Das Licht wird von einem Laser abgestrahlt. Das Meßgut 3 bewegt sich mit der Geschwindigkeit v in Richtung 4. Die Mikrostrukturen der Oberfläche erzeugen im halbkugelförmigen Raum über der Oberfläche eine Interferenzstruktur. In stark vereinfachter und schematischer Form sind nur ein Teil der von einer Mikrostruktur 5 ausgehenden interferierenden Strahlen eingezeichnet. Auf dem photoempfindlichen CCD 7 kommt das Interferenzmuster 6 zur Wirkung.

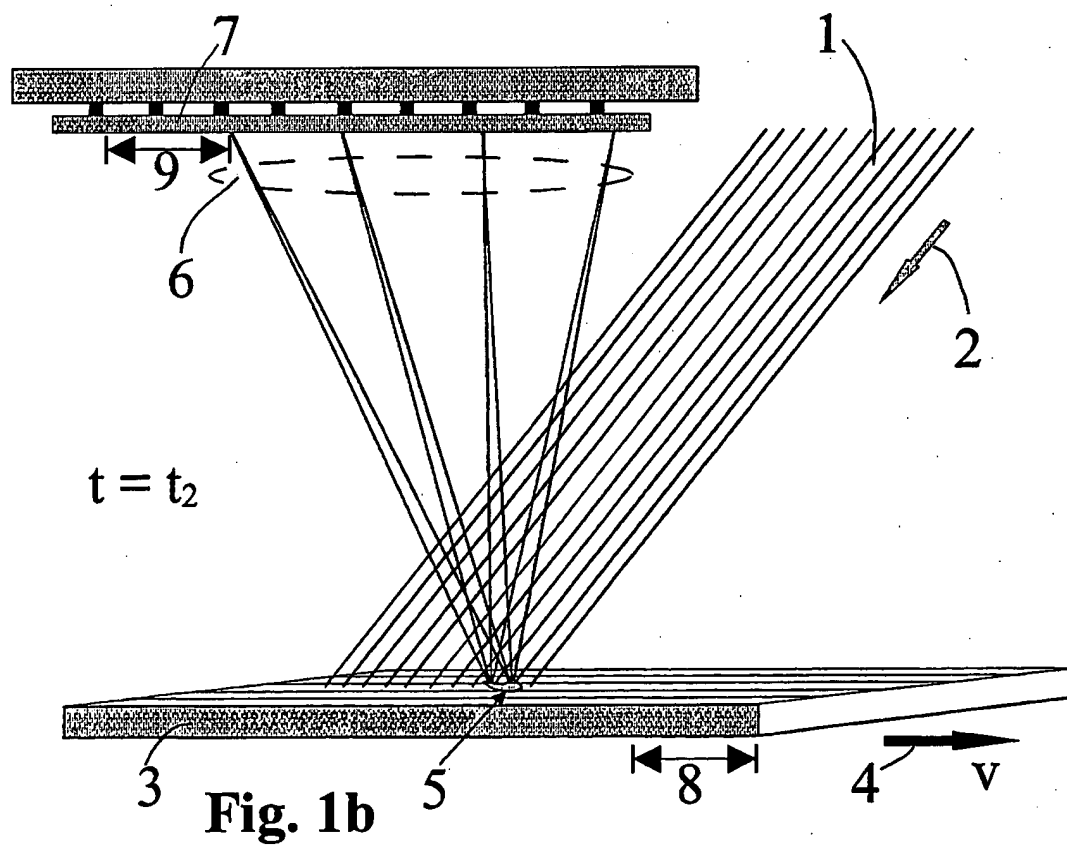
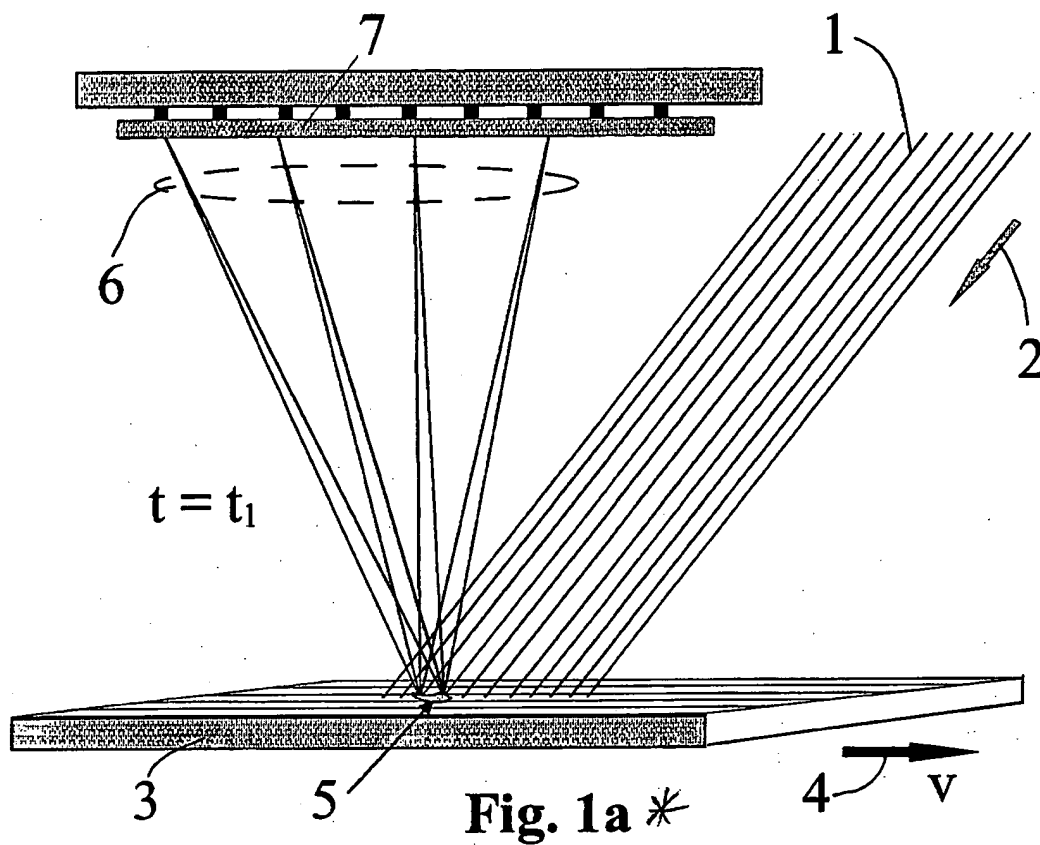
Fig. 1b zeigt die Situation zum Zeitpunkt  $t_2$ . Das Meßgut 3 hat sich um die Distanz 8 weiterbewegt. Synchron dazu hat sich das von der Mikrostruktur 5 ausgehende Interferenzmuster 6 um die Distanz 9 verschoben. Bei in sich parallelem kohärenten Strahlenbündel 1 sind die beiden Distanzen 8 und 9 gleichgroß, unabhängig vom Abstand des photoempfindlichen CCD 7 zur Oberfläche des Meßgutes 3. Die erfindungsgemäße Vorrichtung nebst Verfahren mißt absolut. Aus der vom photoempfindlichen CCD 7 aufgenommenen Bildfolge wird mittels Bildverarbeitung, vorzugsweise gemäß dem Verfahren nach DE-OS 44 44 661, die Geschwindigkeit v ermittelt.

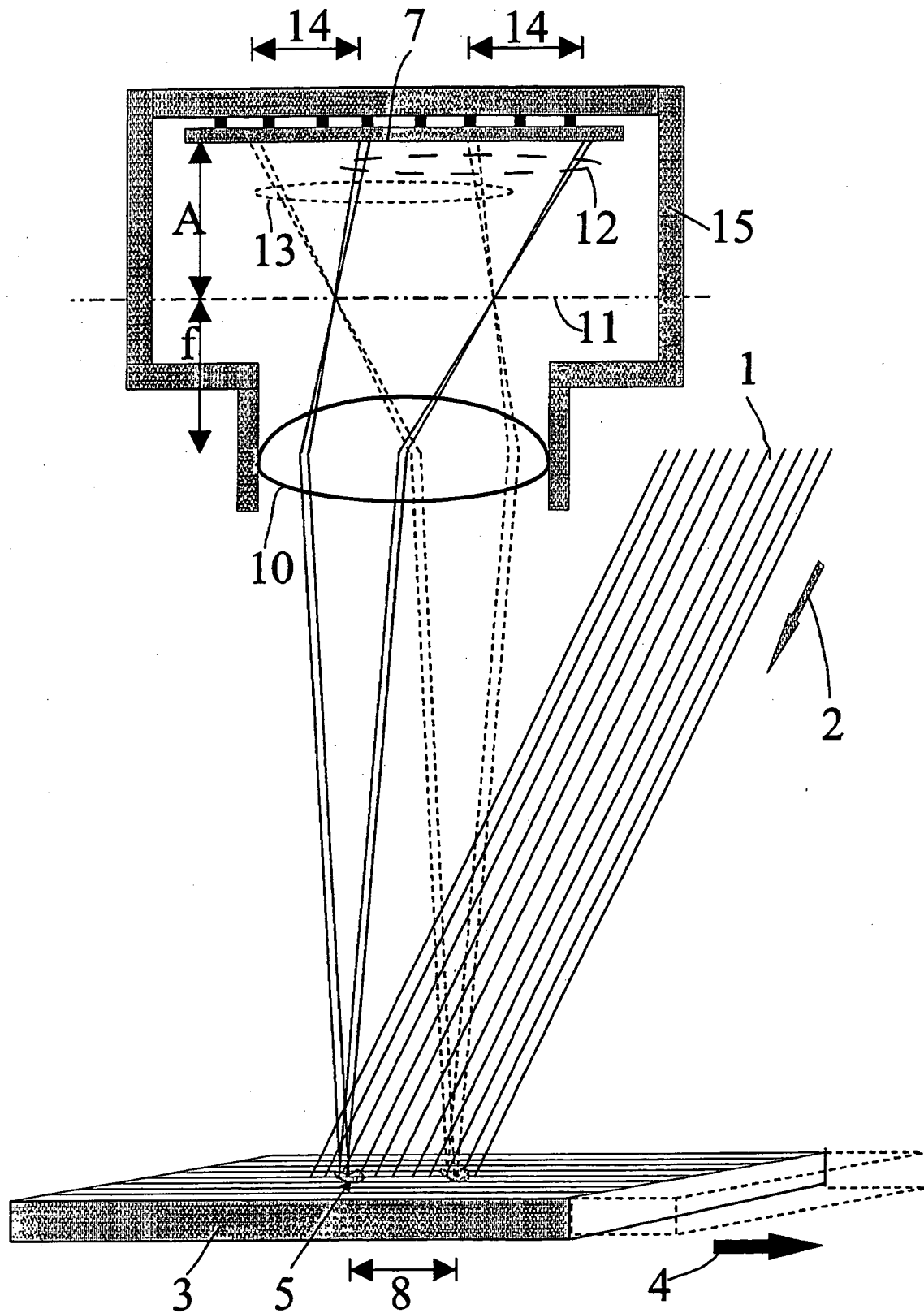
10 In Fig. 2 ist eine zweite Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Ein kohärentes, in sich paralleles Lichtbündel 1 wird in Strahlrichtung 2 auf die Oberfläche des Meßgutes 3 gerichtet. Das Licht wird von einem Laser abgestrahlt. Das Gehäuse 15 hält eine Linse 10 in definiertem Abstand zum photoempfindlichen CCD 7. Das Meßgut 3 und mit ihm die Mikrostruktur 5 auf der Oberfläche bewegt sich mit der Geschwindigkeit v in Richtung 4. In stark vereinfachter und schematischer Form sind nur zwei der von einer Mikrostruktur 5 ausgehenden interferierenden Strahlenbündel eingezeichnet, durchgezogene Linien für den Zeitpunkt  $t_1$  und gestrichelte Linien für den Zeitpunkt  $t_2$ . Die Mikrostruktur 5 durchläuft von  $t_1$  zu  $t_2$  die Distanz 8. Die in sich quasi parallelen interferierenden Strahlenbündel werden beim Passieren der Linse 10, welche die Brennweite f hat, gebrochen. Da diese Strahlenbündel sich bei Bewegung des Meßgutes 3 parallel zur Linse verschieben, wird jedes einzelne der Strahlenbündel von der Linse immer in denselben, vom Abstrahlwinkel abhängigen Punkt der Brennweitebene 11 gelenkt. In der Brennweitebene 11 entsteht aus diesen Strahlenbündeln ein unbewegtes Interferenzbild. Im Abstand A von der Brennweitebene 11 ist das photoempfindliche CCD 7 angeordnet. Auf dem CCD 7 verschiebt sich das Interferenzmuster der Mikrostrukturen um die Distanz 14. Das Interferenzmuster zum Zeitpunkt  $t_1$  ist mit 12 und das zum Zeitpunkt  $t_2$  mit 13 bezeichnet. Das Verhältnis zwischen Distanz 14 und Distanz 8 hängt nur vom Abstand A des CCD 7 von der Brennweitebene 11 ab, sofern das einfallende kohärente Lichtbündel 1 in sich parallel ist. Für  $A = f$  sind die Distanzen 8 und 14 gleich groß, unabhängig vom Abstand zwischen Meßgut 3 und Linse 10. Der aus der Verschiebung 14 ermittelte Geschwindigkeitswert ist bei kohärentem und in sich parallelen Lichtbündel 1 invariant gegenüber Abstandsänderungen zwischen Linse 10 und Meßgut 3.

Die erfindungsgemäße Anordnung nach Fig. 2 hat folgende äußerst nützliche Eigenschaften: Die Oberfläche des Meßgutes 3 wird bei genügend großem A nicht auf dem photoempfindlichen CCD 7 abgebildet. Wird die Oberfläche des Meßgutes 3 zusätzlich von anderen Lichtquellen beleuchtet, so bewirkt das auf der Oberfläche des photoempfindlichen CCD 7 eine diffuse Helligkeitsverteilung, die sich dem prägnant ausgebildeten Interferenzmuster überlagert. Aus den CCD-Signalen kann so das Interferenzbild leicht herausgefiltert werden. Seitlich einfallendes Neben- und Streulicht lenkt die Linse 10 vom photoempfindlichen CCD 7 weg. So läßt sich mit der erfindungsgemäßen Anordnung gemäß Fig. 2 auch bei einem kritischen Verhältnis zwischen Intensität des kohärenten Lichtbündels 1 und der Umgebungshelligkeit störfrei und sicher die Geschwindigkeit messen.

Ist das kohärente Lichtbündel 1 nicht in sich parallel, so funktionieren die beschriebenen Ausführungsbeispiele wie beschrieben mit einer Ausnahme: In die Meßergebnisse geht jeweils der Abstand von der Oberfläche des Meßgutes 3 zum photoempfindlichen CCD 7 (Anordnung gemäß Fig. 1a und Fig. 1b) beziehungsweise zur Linse 10 (Anordnung gemäß Fig. 2) ein.

1. Vorrichtung und Verfahren zur berührungslosen Messung der Geschwindigkeit zwischen einem strahlungsempfindlichen Detektor und dem Meßgut mit beliebig gemusterter sowie beliebig strukturierter Oberfläche, wobei der Detektor über der Oberfläche des Meßgutes angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß mit der Mikrostruktur der Oberfläche des Meßgutes im halbkugelförmigen Raum über dieser Oberfläche eine sich synchron mit dem Meßgut bewegendende räumliche Strahlungsstruktur erzeugt wird, indem auf die Oberfläche des Meßgutes ein kohärentes Strahlenbündel gerichtet wird, und daß die räumliche Strahlungsstruktur auf einem in diesem halbkugelförmigen Raum genügend weit von der Auftrefffläche des kohärenten Strahlenbündels positioniertem strahlungsempfindlichen Detektor als Interferenzmuster zur Wirkung kommt, ohne irgendwelche fokussierenden oder abbildenden Elemente zwischen Oberfläche und Detektor anordnen zu müssen, und wobei die Verschiebung des Interferenzmusters als Funktion der Zeit vom Detektor erfaßt und daraus die Relativgeschwindigkeit zwischen Meßgut und Detektor ermittelt wird. 5
2. Vorrichtung und Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als kohärente Strahlungsquelle ein Laser eingesetzt wird. 10
3. Vorrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Detektor ein bildwandelnder Sensor eingesetzt wird. 15
4. Vorrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Oberfläche des Meßgutes und dem Detektor kein fokussierendes oder abbildendes Element angeordnet ist. 20
5. Vorrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Oberfläche des Meßgutes und dem Detektor ein fokussierendes Element angeordnet ist, wobei der Detektor weder in der Brennweiteebene des fokussierenden Elementes noch in derjenigen Ebene positioniert ist, in der die Oberfläche des Meßgutes scharf abgebildet wird. 25
6. Vorrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Geschwindigkeitsmeßbereich mit der Größe des Abstandes zwischen dem Detektor und der Position der Brennweiteebene des fokussierenden Elementes variiert wird. 30
7. Vorrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Detektor ein CCD eingesetzt ist. 35
8. Vorrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Detektor eine bildwandelnde CCD-Zeile eingesetzt ist. 40
9. Vorrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Detektor eine bildwandelnde CCD-Matrix eingesetzt ist. 45
10. Vorrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermittlung der Geschwindigkeit aus dem Signal der als Detektor eingesetzten bildwandelnden Sensoren gemäß dem Verfahren nach DE-OS 44 44 666 erfolgt. 50
11. Vorrichtung und Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermittlung der Geschwindigkeit aus dem Signal des Detektors gemäß bekannter Verfahren zur Analyse der 55





**Fig. 2**

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record

## BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☒ OTHER: hole punched over text

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images  
problems checked, please do not report the  
problems to the IFW Image Problem Mailbox**